

信息光学知识点概括

张鑫渤

通讯作者：吴威圻

2022 年 5 月 18 日

目录

目 录		4.7 平面全息图的衍射效率	6
1 线性系统分析	1	5 空间滤波	6
1.1 常用初等函数	1	5.1 阿贝成像理论	6
1.1.1 矩形函数	1	5.2 空间滤波的傅里叶分析	6
1.1.2 sinc 函数	1	5.3 空间滤波系统	6
1.1.3 三角函数	1	5.4 空间滤波器	6
1.1.4 符号函数	2	5.5 空间滤波应用	7
1.1.5 δ 函数	2	6 相干光学处理	7
1.1.6 梳状函数	2	6.1 光学信息处理的分类	7
1.2 二维傅里叶变换	3	6.2 光学信息处理内容	7
1.2.1 傅里叶变换的基本性质和有关定理 . . .	3	6.3 图像相减作用	7
1.2.2 空间频率和空间频谱	3	6.4 匹配空间滤波器	7
1.2.3 傅里叶级数	3	6.5 图像识别	7
1.2.4 广义傅里叶变换	3	6.6 不变的图样识别光学方法	7
1.3 卷积和相关	3	6.7 模糊图像的复原	7
1.3.1 卷积	3		
1.3.2 互相关、自相关的定义、物理意义 . . .	4		
1.4 线性系统分析	4		
1.5 二维光场分析	4		
2 标量衍射理论	4		
2.1 标量衍射理论成立的两大条件	4		
2.2 射屏复振幅透过率	4		
2.3 惠更斯——菲涅耳原理	4		
2.4 基尔霍夫衍射理论	4		
2.5 菲涅耳衍射——近场衍射	4		
2.6 夫琅禾费衍射——远场衍射	4		
2.7 夫琅禾费衍射的条件及与菲涅耳衍射之比较 . .	4		
2.8 衍射的角谱理论	4		
2.9 透镜的傅里叶变换性	5		
2.9.1 孔径函数	5		
3 光学成像系统的传递函数	5		
3.1 透镜的点扩散函数	5		
3.2 衍射受限系统的点扩散函数	5		
3.3 相干照明下衍射受限系统的成像规律	5		
3.4 颜色和受限系统的相干传递函数	5		
3.5 截止频率	5		
4 光学全息	5		
4.1 普通照相与全息照相的比较（定义）	5		
4.2 全息照相的核心	6		
4.3 全息基本公式	6		
4.4 菲涅尔全息图	6		
4.5 傅里叶变换全息图	6		
4.6 位相全息图	6		

1 线性系统分析

1.1 常用初等函数

1.1.1 矩形函数

1. 函数定义：

$$\text{rect}\left(\frac{x-x_0}{a}\right) = \begin{cases} 1, & \left|\frac{x-x_0}{a}\right| \leq \frac{1}{2} \\ 0, & \text{other} \end{cases}$$

2. 函数图像：

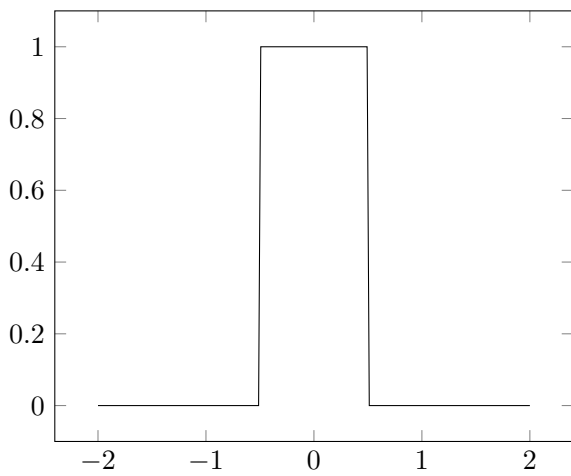


图 1: 当 $x_0 = 0, a = 1$ 时的 $\text{rect}\left(\frac{x-x_0}{a}\right)$ 图像

3. 作用：描述照相机快门的曝光时间，矩形孔（或狭缝）的透射系数，与某函数相乘时可限制自变量的范围，起到截取的作用。

4. 傅里叶变换函数：

$$F\left[\text{rect}\left(\frac{x}{a}\right)\right] = a \text{sinc}(a\xi)$$

1.1.2 sinc 函数

1. 函数定义：

$$\text{sinc}\left(\frac{x-x_0}{a}\right) = \frac{\sin\pi(x-x_0)/a}{\pi(x-x_0)/a}$$

2. 函数图像：

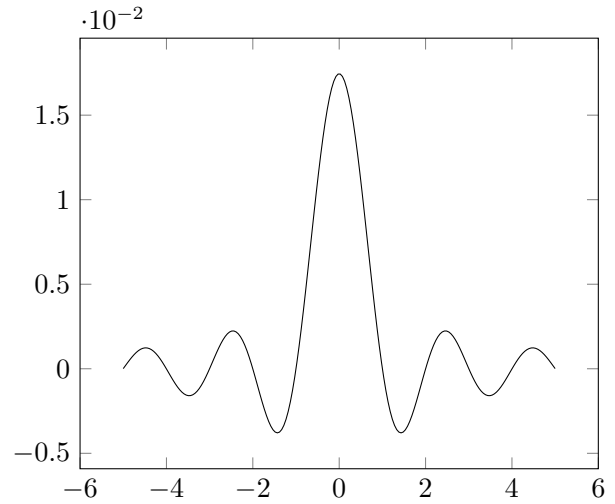


图 2: 当 $x_0 = 0, a = 1$ 时的 $\text{sinc}\left(\frac{x-x_0}{a}\right)$ 图像

3. 作用：描述狭缝或矩形孔的夫琅禾费衍射图样。

1.1.3 三角函数

1. 函数定义：

$$\Lambda\left(\frac{x}{a}\right) = \begin{cases} 1 - \left|\frac{x}{a}\right|, & |x| \leq a \\ 0, & \text{other} \end{cases}$$

2. 函数图像：

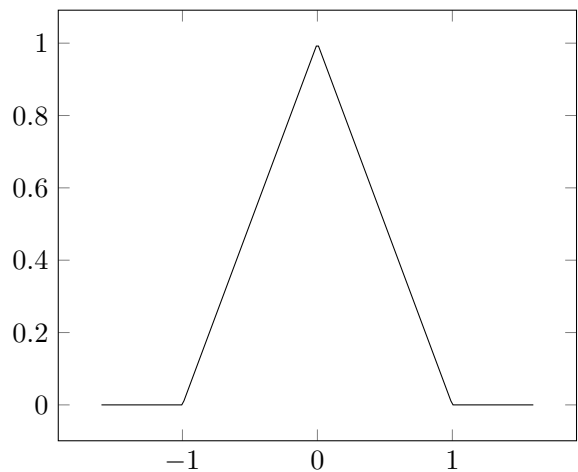


图 3: 当 $x_0 = 0, a = 1$ 时的 $\Lambda\left(\frac{x}{a}\right)$ 图像

3. 作用：表示光瞳为矩形的非相干成像系统的光学传递函数。

4. 傅里叶变换函数：

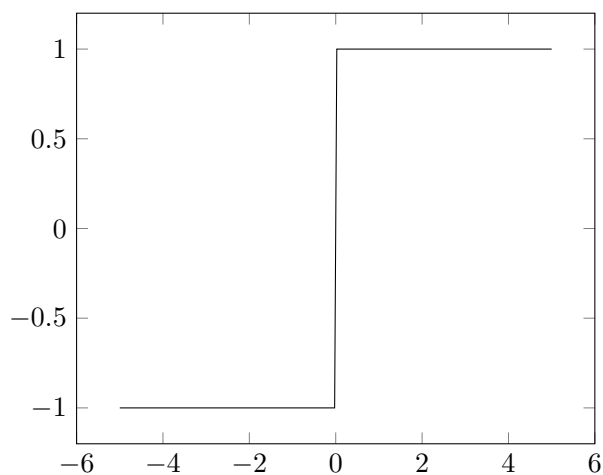
$$F\left[\Lambda\left(\frac{x}{a}\right)\right] = a \text{sinc}^2(a\xi)$$

1.1.4 符号函数

1. 函数定义:

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

2. 函数图像:

图 4: 当 $x_0 = 0, a = 1$ 时的 $\operatorname{sgn}(x)$ 图像

3. 作用: 可在某处逆转某一函数的极性。

4. 傅里叶变换函数:

$$F[\operatorname{sgn}(x)] = \frac{1}{j\pi\xi}$$

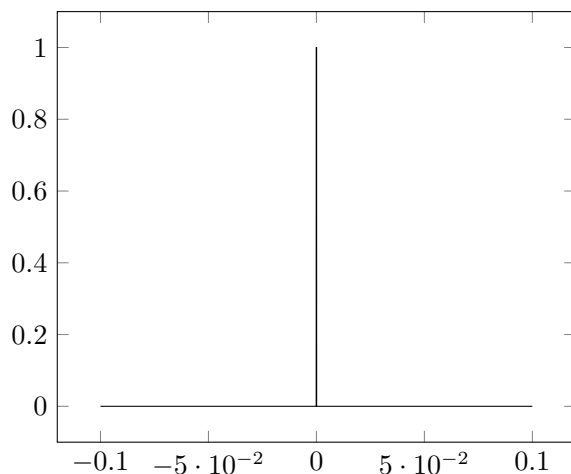
1.1.5 δ 函数

1. 函数定义:

$$\delta(x, y) = \begin{cases} 0, & x \neq 0 \text{ or } y \neq 0 \\ \infty, & x = y = 0 \end{cases}$$

$$\iint_{-\infty}^{\infty} \delta(x, y) dx dy = 1$$

2. 函数图像:

图 5: 当 $x_0 = 0, a = 1$ 时的 $\delta(x, y)$ 图像

3. 作用: 描述质点、点电荷、点光源及瞬时脉冲等。其属性完全由它在积分中的作用表现出来。

4. 傅里叶变换函数:

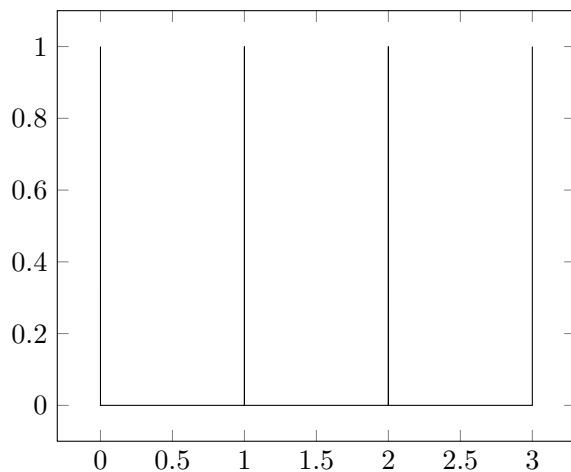
$$F[\delta(x, y)] = 1$$

1.1.6 梳状函数

1. 函数定义:

$$\operatorname{comb}(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - n) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(j2\pi nx)$$

2. 函数图像:

图 6: 当 $a = 1$ 时的 $\operatorname{comb}(x/a)$ 图像

3. 作用: 可在另一函数中取样。

4. 傅里叶变换函数:

$$F[\operatorname{comb}(x, a)] = a \operatorname{comb}(a\xi)$$

原函数	傅里叶变换函数	原函数	傅里叶变换函数
1	$\delta(\xi, \eta)$	$rect(x)rect(y)$	$sinc(\xi)sinc(\eta)$
$\delta(x, y)$	1	$\Lambda(x)\Lambda(y)$	$sinc^2(\xi)sinc^2(\eta)$
$\delta(x-a, y-b)$	$\exp[-j2\pi(a\xi + b\eta)]$	$sgn(x)sgn(y)$	$\frac{1}{j\pi\xi} \cdot \frac{1}{j\pi\eta}$
$\exp[-j2\pi(ax + by)]$	$\delta(\xi - a, \eta - b)$	$comb(x)comb(y)$	$comb(\xi)comb(\eta)$
$\cos(2\pi f_0 x)$	$\frac{1}{2}[\delta(\xi - f_0) + \delta(\xi + f_0)]$	$\exp[-\pi(x^2 + y^2)]$	$\exp[-\pi(\xi^2 + \eta^2)]$
$\frac{1}{2}[\delta(x - x_0) + \delta(x + x_0)]$	$\cos(2\pi\xi x_0)$	$circ(\sqrt{x^2 + y^2})$	$\frac{J_1(2\pi\sqrt{\xi^2 + \eta^2})}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}}$
$\sin(2\pi f_0 x)$	$\frac{1}{2j}[\delta(\xi - f_0) - \delta(\xi + f_0)]$	$step(x)$	$\frac{1}{2}\delta(\xi) + \frac{1}{j2\pi\xi}$
$\frac{j}{2}[\delta(x - x_0) - \delta(x + x_0)]$	$\sin(2\pi\xi x_0)$		

图 7: 常用傅里叶变换对

1.2 二维傅里叶变换

1.2.1 傅里叶变换的基本性质和有关定理

1. 傅里叶正变换:

$$G(\xi, \eta) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) \exp[-j2\pi(\xi x + \eta y)] dx dy$$

称为二阶傅里叶变换的核。

2. 傅里叶反变换:

$$g(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} G(\xi, \eta) \exp[-j2\pi(\xi x + \eta y)] d\xi d\eta$$

, 其中 $G(\xi, \eta)$ 为权重因子。

3. 性质: 线性性质、对称性、迭次傅里叶变换、坐标缩放性质、平移性、体积对应关系和复共轭函数的傅里叶变换。

4. 有关定理: 卷积定理、相关定理、Parseval 定理及广义 Parseval 定理等。

$$F[(x, y) * h(x, y)] = G(\xi, \eta) \cdot H(\xi, \eta)$$

1.2.2 空间频率和空间频谱

1. $\xi = \frac{1}{\lambda} = \frac{\cos \alpha}{\lambda}, \eta = \frac{\cos \beta}{\lambda}, \zeta = \frac{\cos \gamma}{\lambda}, \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = \frac{1}{\lambda^2}$. 其中, $\xi, \eta, \zeta, \frac{1}{\lambda}$ 分别是沿 X, Y, Z, K 方向的空间频率。

2. $G(\xi, \eta) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) \exp[-j2\pi(\xi x + \eta y)] dx dy$, 把 $G(\xi, \eta)$ 称为 $g(x, y)$ 的空间频谱。写成: $G(\frac{\cos \alpha}{\lambda}, \frac{\cos \beta}{\lambda}) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) \exp[-j2\pi(\frac{\cos \alpha}{\lambda}x + \frac{\cos \beta}{\lambda}y)] dx dy$, 则为角谱。

1.2.3 傅里叶级数

一个周期函数 $f(t)$, 周期 $\tau = \frac{1}{v}$, 它满足迪利克雷条件, 即函数在一个周期内有有限个极值点和第一类间断点 (所谓

第一类间断点是有函数的不连续点, 在该点附近函数的值有限, 其左右极限存在), 则 $f(t)$ 可展开成指数傅里叶形式

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \exp(j2\pi nvt)$$

其中

$$C_n = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \exp(-j2\pi nvt) dt, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

由于周期函数只包含 $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 频率分量, 频率的取值是离散的, 所以周期函数只有离散谱。

1.2.4 广义傅里叶变换

广义傅里叶变换: 极限意义下的傅里叶变换和 δ 函数的傅里叶变换。

1.3 卷积和相关

1.3.1 卷积

1. 二维卷积定义:

$$\begin{aligned} g(x, y) &= \iint_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) h(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta \\ &= f(x, y) * h(x, y) \end{aligned}$$

2. 卷积运算性质:

(a) 展宽效应: 假如函数旨在一个有限区间内不为零, 这个区间可称为函数的宽度, 一般说来, 卷积函数的宽度等于被卷函数宽度之和。

(b) 平滑效应: 被卷函数经过卷积运算, 其细微结构在一定程度上被消除, 函数本身的起伏震荡变得平缓圆滑, 在数学上有关卷积的一条定理说, 在某些相当普遍的条件下, n 个函数的卷积, 当 $n \rightarrow \infty$ 时, 趋于高斯函数形式。

1.3.2 互相关、自相关的定义、物理意义

1. 互相关物理意义：互相关是两个信号之间存在多少相似性的量度。
2. 自相关物理意义：自变量相差某一大小时，函数值间相关的量度，反映函数变化的快慢。

1.4 线性系统分析

线性平移不变系统的传递函数： $H(\xi, \eta) = \frac{G(\xi, \eta)}{F(\xi, \eta)}$

1.5 二维光场分析

平面波表达式： $A \exp[jk(x \cos \alpha + y \cos \beta)]$

球面波表达式： $\frac{A}{z} \exp(jkz) \exp\left[\frac{jk}{2z}(x^2 + y^2)\right]$

2 标量衍射理论

2.1 标量衍射理论成立的两大条件

1. 衍射孔径比波长大得多。
2. 观察点离衍射孔径不要太近。

2.2 射屏复振幅透射率

$$t(P) = \frac{U_t(P)}{U_i(P)}$$

或是以一定形式限制波面范围或使振幅以一定分布衰减，或是以一定的空间分布使相位延迟，或是两者兼而有之，都会引起衍射。

2.3 惠更斯——菲涅耳原理

$$U(Q) = c \iint_{\Sigma} U_0(P) K(\theta) \frac{\exp(jkr)}{r} ds$$

2.4 基尔霍夫衍射理论

$$U(Q) = \frac{1}{j\lambda} \iint_{\Sigma} \frac{a_0 \exp(jkr_0)}{r_0} \left[\frac{\cos(\vec{n}, \vec{r})}{2} - \frac{\cos(\vec{n}, \vec{r}_0)}{2} \right] \frac{\exp(jkr)}{r} ds$$

$h(P, Q) = \frac{1}{j\lambda} \frac{\exp(jkr)}{r} K(\theta)$ 脉冲响应或点扩散函数。所以：

$$U(Q) = \iint U_0(P) h(P, Q) ds。$$

当光源足够远，且入射光在孔径平面上各点的入射角都不大

时， $\because \cos(\vec{n}, \vec{r}_0) \approx -1, \cos(\vec{n}, \vec{r}) \approx 1$

$\therefore K(\theta) \approx 1$

$$\text{故 } h(P, Q) = \frac{1}{j\lambda} \frac{\exp(jkr)}{z}, r \approx z \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{x-x_0}{z} \right)^2 + \left(\frac{y-y_0}{z} \right)^2 \right] \right\}$$

2.5 菲涅耳衍射——近场衍射

条件： $\frac{2\pi}{\lambda} \frac{[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2]_{max}}{8z^3} \ll 2\pi$ 。其脉冲相应具有空不变的形式。

$$U(x, y) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \exp\left[\frac{jk}{2z}(x^2 + y^2)\right] \iint_{-\infty}^{\infty} U_0(x_0, y_0) \cdot \exp\left[\frac{jk}{2z}(x_0^2 + y_0^2)\right] \cdot \exp\left[\frac{-j2\pi}{\lambda z}(xx_0 + yy_0)\right] dx_0 dy_0$$

2.6 夫琅禾费衍射——远场衍射

条件： $\frac{2\pi}{\lambda} \frac{(x_0^2 + y_0^2)_{max}}{2z} \ll 2\pi$ 。其脉冲相应不再具有空不变的形式。

$$U(x, y) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \exp\left[\frac{jk}{2z}(x^2 + y^2)\right] \iint_{-\infty}^{\infty} U_0(x_0, y_0) \cdot \exp\left[-j\frac{2\pi}{\lambda z}(xx_0 + yy_0)\right] dx_0 dy_0$$

2.7 夫琅禾费衍射的条件及与菲涅耳衍射之比较

1. 菲涅耳衍射的复振幅分布正比于

$$U_0(x_0, y_0) \exp\left[\frac{jk}{2z}(x_0^2 + y_0^2)\right]$$

的傅里叶变换，因此随着距离 z 的增大，观察平面上衍射光场分布会发生变化，仅就轴上点，而言，随着距离 z 的变化其亮暗是交替变化

2. 夫琅禾费衍射的复振幅分布正比于 $U_0(x_0, y_0)$ 的傅里叶变换，当 z 变化时，衍射图样只是按比例放大或缩小，图样形状不会发生变化。

2.8 衍射的角谱理论

1. 角谱的传播：

$$A\left(\frac{\cos \alpha}{\lambda}, \frac{\cos \beta}{\lambda}\right) = A_0\left(\frac{\cos \alpha}{\lambda}, \frac{\cos \beta}{\lambda}\right) \cdot \exp\left(jkz\sqrt{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta}\right),$$

$$H(\xi, \eta) = \frac{A(\xi, \eta)}{A_0(\xi, \eta)} = \exp\left[jk \cdot z \sqrt{1 - (\lambda\xi)^2 - (\lambda\eta)^2}\right]$$

即：

基尔霍夫理论是描述球面子波相干叠加的理论，它在空域讨论光的传播。角谱理论是衍射的平面波理论，它在频域讨论光的传播。

2. 孔径对角谱的影响:

$$A_o\left(\frac{\cos\alpha}{\lambda}, \frac{\cos\beta}{\lambda}\right) = A_i\left(\frac{\cos\alpha}{\lambda}, \frac{\cos\beta}{\lambda}\right) * T\left(\frac{\cos\alpha}{\lambda}, \frac{\cos\beta}{\lambda}\right)$$

衍射孔径展宽了角谱, 孔径越小, 角谱越宽。从空域看, 孔径的作用限制了入射球面波的大小, 从频域看, 则是展宽了入射光场的角谱。

2.9 透镜的傅里叶变换性

2.9.1 孔径函数

$$t(x, y) = P(x, y) \exp\left[-j\frac{k}{2f}(x^2 + y^2)\right]$$

1. 相位变换作用: $t(x, y) = p(x, y) \exp\left[-j\frac{k}{2f}(x^2 + y^2)\right]$ 。

2. 透镜的傅里叶变换性:

(a) 物在透镜前时, 仅在前焦平面处无二次位相因子。

(b) 物在透镜后时, 均有二次位相因子。

3 光学成像系统的传递函数

几何光学: 空域研究成像规律, 采用星点法和分辨率法(像质评价)。

信息光学: 频域研究成像规律, 采用光学传递函数法(全面、科学像质评价)。

3.1 透镜的点扩散函数

当该面元的光振动为单位脉冲即 δ 函数时, 这个像场分布函数叫做点扩散函数或脉冲响应。通常用 $h(x_o, y_o; x_i, y_i)$ 表示。

当透镜的孔径比较大时, 物面上每一物点产生的脉冲响应是一个很小的像斑, 那么能够对于桌面上 (x_i, y_i) 点光场产生有意义贡献的, 必定是物面上以几何成像所对应的以物点为中心的微小区域。在这个区域内可近似地认为 x_o, y_o 不变, 其值与 (x_i, y_i) 点的共轭物坐标 $x_o = x_i/M, y_o = y_i/M$ 相同, 即可作以下近似:

$$\exp\left[j\frac{k}{2d_o}(x_o^2 + y_o^2)\right] \approx \exp\left[j\frac{k}{2d_o}\left(\frac{x_i^2 + y_i^2}{M^2}\right)\right]$$

这样一来, 点扩散函数的形式为

$$h(x_o, y_o; x_i, y_i) = \frac{1}{\lambda^2 d_o d_i} \iint_{-\infty}^{\infty} P(x, y) \exp\left\{-jk\left[\left(\frac{x_i}{d_i} + \frac{x_o}{d_o}\right)x + \left(\frac{y_i}{d_i} + \frac{y_o}{d_o}\right)y\right]\right\} dx dy$$

3.2 衍射受限系统的点扩散函数

$$h(x_i - \tilde{x}_0, y_i - \tilde{y}_0) = K\lambda^2 d_i^2 \iint_{-\infty}^{\infty} P(\lambda d_i \tilde{x}, \lambda d_i \tilde{y}) \cdot \exp\{-j2\pi[(x_i - \tilde{x}_0)\tilde{x} + (y_i - \tilde{y}_0)\tilde{y}]\} d\tilde{x} d\tilde{y}$$

光瞳相对于 λd_i 足够大时:

$$h(x_i - \tilde{x}_0, y_i - \tilde{y}_0) \cong K\lambda^2 d_i^2 \delta(x_i - \tilde{x}_0, y_i - \tilde{y}_0)$$

理想情况: 点物成点像。

3.3 相干照明下衍射受限系统的成像规律

$$U_i(x_i, y_i) = \tilde{h}(x_i, y_i) * U_g(x_i, y_i)$$

其中, $\tilde{h}(x_i, y_i) = F[P(\lambda d_i \tilde{x}, \lambda d_i \tilde{y})]$,

$U_g(x_i, y_i) = \frac{1}{M} U_0\left(\frac{x_i}{M}, \frac{y_i}{M}\right)$ 为理想像。

表明: 物 $U_0(x_0, y_0)$ 通过衍射受限系统后的像 $U_i(x_i, y_i)$ 是 $U_0(x_0, y_0)$ 的理想像 $U_g(x_i, y_i)$ 和点扩散函数 $\tilde{h}(x_i, y_i)$ 的卷积。

可见, 在相干照明条件下, 对于衍射受限成像系统, 表征成像系统特征的点扩散函数 \tilde{h} , 仅决定于系统的光瞳函数 P , 可见, 光瞳函数对于与衍射受限系统成像的重要。

3.4 颜色和受限系统的相干传递函数

$$H(\xi, \eta) = P(\lambda d_i \xi, \lambda d_i \eta)$$

3.5 截止频率

衍射受限系统是一个低通滤波器, 低于某一频率的指数基元成分将按原样通过, 高于该频率的指数基元成分将被截止, 这个特征频率称为系统的截止频率。

注意: 渐晕效应。

1. 圆形光瞳: $\rho_c = \frac{D}{2\lambda d_i}, \rho_{oc} = M\rho_c = \frac{D}{2\lambda d_o}$

2. 正方形光瞳不同方向的截止频率不同, 45° 方向最大 $\rho_{cmax} = \frac{\sqrt{2}a}{2\lambda d_i}$

3. 长方形光瞳不同方向的频率不同, 对角线方向最大 $\rho_{cmax} = \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2\lambda d_i}$ 。

4 光学全息

4.1 普通照相与全息照相的比较(定义)

普通照相是根据几何光学成像原理, 记录下光波的强度(即振幅), 而全息照相是根据波动光学干涉、衍射原理, 能记录光波的振幅和相位(完全信息)。

4.2 全息照相的核心

波前记录（干涉）和再现（衍射）。

参考光波一般选用比较简单的平面波或球面波，且参考光波通常比物光波强的多。

1. 方法：干涉法 (标准方法，即将空间相位调制 \rightarrow 空间强度调制)。
2. 特点：全息图实际上就是一幅干涉图。
3. 记录过程的线性条件：把曝光期间内的入射光强线性地变换为显影后的负片的振幅透过率。
4. 分类：
 - (a) 物、参位置：同轴全息 + 离轴全息。
 - (b) 物、图位置：菲涅耳全息图 + 像面全息图 + 傅里叶变换全息图。
 - (c) 介质厚度：平面全息图 + 体积全息图。

4.3 全息基本公式

$$(t_b + \beta' O^2) C e^{j\delta_C} + ORC e^{j(\delta_O - \delta_r + \delta_C)} + ORC e^{-j(\delta_O - \delta_r - \delta_C)}$$

0 级（背景光） +1 级（虚像） -1 级（实像）

4.4 菲涅尔全息图

直接记录物体光波本身，不需透镜。记录介质与物体距离满足 *Fresnel* 衍射条件。

像位置坐标：

$$z_i = \left(\frac{1}{z_p} \pm \frac{\lambda_2}{\lambda_1 z_r} \mp \frac{\lambda_2}{\lambda_1 z_o} \right)^{-1}$$

$$x_i = \mp \frac{\lambda_2 z_i}{\lambda_1 z_o} x_o \pm \frac{\lambda_2 z_i}{\lambda_1 z_r} x_r + \frac{z_i}{z_p} x_p,$$

$$y_i = \mp \frac{\lambda_2 z_i}{\lambda_1 z_o} y_o \pm \frac{\lambda_2 z_i}{\lambda_1 z_r} y_r + \frac{z_i}{z_p} y_p$$

横向放大率： $M = \left| \frac{dx_i}{dx_o} \right| = \left| \frac{dy_i}{dy_o} \right| = \left| \frac{\lambda_2 z_i}{\lambda_1 z_o} \right| = \left| 1 - \frac{z_o}{z_r} \mp \frac{\lambda^2 z_o}{\lambda_1 z_p} \right|^{-1}$
 Information Optics.pdf 纵向放大率： $M_z = \left| \frac{dz_i}{dz_o} \right| = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} M^2$ z_i 为正时，乃发散球面波，再现像是虚像。 z_i 为负时，乃会聚球面波，再现像是实像。

4.5 傅里叶变换全息图

1. 定义：物体或图像频谱的全息记录。
2. 特点：不是记录物光波本身，而是记录物光波的傅里叶变换。
3. 照明方式：平行光照明和点光源照明，相互是独立的。

4.6 位相全息图

1. 定义：照明光波通过全息图时，受到均匀吸收，仅仅是相位被调制。
2. 两种制作方法：表面浮雕型和折射率型。记录物质的厚度改变，折射率不变。改变记录物质的折射率，不改变折射率。
3. 性质：在线性记录条件下，相位变化与曝光光强成正比。

4.7 平面全息图的衍射效率

1. 定义：全息图的一级衍射成像光通量与照明全息图的总光通量之比。
2. 振幅全息图的衍射效率：正弦型（6.25%），矩形（10.13%）
3. 位相全息图的衍射效率：正弦型（33.9%），矩形（40.4%）

结论：无论振幅型还是位相型，矩形波衍射效率均大于正弦波。

5 空间滤波

5.1 阿贝成像理论

第 1 步：物体 (P_1) 经 L 在透镜后焦面 (P_2) 成各级衍射斑 (分频)。

第 2 步：各级衍射斑在像面 (P_3) 相互干涉成像 (合成)。

5.2 空间滤波的傅里叶分析

透镜作频谱分析器，空间滤波器改变物体光的频谱。

5.3 空间滤波系统

经典的 $4f$ 系统（尚有其他三种系统）。

5.4 空间滤波器

位于空间频谱平面上的一种模片，它改变输入信息的空间频谱，从而实现对输入信息的某种变换。分类：

1. 二元振幅滤波器。
2. 振幅滤波器。
3. 相位滤波器。
4. 复数滤波器。

二元振幅滤波器亦可分为：

1. 低通滤波器。

2. 高通滤波器。
3. 带通滤波器。
4. 方向滤波器。

5.5 空间滤波应用

1. 策尼克相衬显微镜：在频谱面上改变中心相位 $\pm\pi/2$ ，强度变化与位相变化成线性关系 $I = 1 \pm 2\varphi$ 且变化的幅度相对背景而言加倍。+：正相衬；-：负相衬。
2. 补偿滤波器：为补偿离焦成像系统的缺陷，可采用组合滤波器可改善图像质量。其吸引板可衰减传递函数 H 低频峰值，提高像的对比，突出细节；相移板可使传递函数 H 的第一个负瓣相移 π 纠正对比反转。
3. θ 调制技术：利用光栅与其谱点的对应关系来改变光栅像，将原始像 $f_o(x_0, y_0)$ 变成按一定角度 θ 的光栅调制的像 $f'_m(x'_0, y'_0)$ 。 θ 角的大小与物体振幅分割的等级个数 m 的大小有关（一般 $\theta = 180/m$ ）。

6 相干光学处理

6.1 光学信息处理的分类

1. 从物像关系或者输入和输出的关系来说
 - (a) 线性处理与非线性处理
 - (b) 空间不变与空间变处理
2. 从所使用光源的空间和时间相干性来说
 - (a) 相干光处理
 - (b) 非相干光处理
 - (c) 白光光学处理

6.2 光学信息处理内容

1. 光学图像识别（匹配滤波）
2. 图像相加（代数运算）
3. 图像相减（代数运算）
4. 图像边缘（高通滤波）
5. 图像消模糊（逆滤波器和维纳滤波器）

6.3 图像相减作用

用于检测两张近似图像之间的差异，使我们能研究事物的变化。

方法：光栅编码（空域编码频域解码相减）和光栅衍射（正弦光栅滤波器相减）。

6.4 匹配空间滤波器

1. 所谓“匹配”，实质上是在频域对输入信号频谱的相位进行补偿，形成平面相位分布。
2. 匹配空间滤波器在光学特征识别中起重要作用。
3. 匹配滤波器是复数滤波器，可用光学全息或计算全息的方法制作。

6.5 图像识别

采用匹配滤波进行相关检测是图像识别的一种重要手段。联合变换相关识别：在输出平面得到目标图像与参考图像的相关输出。还用于指纹和汉字手写体的实时识别。

6.6 不变的图样识别光学方法

使光学相关识别系统具有“不变应万变”的鲁棒性，降低或消除对诸如尺寸大小和旋转等额外参数的敏感程度，常用的解决方法有：

1. 梅林相关器：对物体放大率具有某种不变性。
2. 圆谐波相关：能很好地解决物体的旋转不变性问题。
3. 合成判别式函数：用来制作单个的图样识别滤波器，相关性质是某一组训练图像预先制作的，这些图像与参考滤波器之间所需的相关性质事先已经知道。

6.7 模糊图像的复原

原因：传递函数的缺陷。

方法：逆滤波器（解卷积）和维纳滤波器（最小均方误差滤波器）。